Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg
(Lehrstuhl I: Prof. Dr. med. J. W. Rohen)

Struktur und Altersveränderungen arachnoidealer Granulationen an den Sehnervenscheiden bei Mensch und Affe

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Michael Hammann
aus Bad Nauheim

Marburg 1969

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg
(Lehrstuhl I: Prof. Dr. med. J. W. Rohen)

Struktur und Altersveränderungen arachnoidealer Granulationen an den Sehnervenscheiden bei Mensch und Affe

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Michael Hammann
aus Bad Nauheim

Marburg 1969

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der
Philipps-Universität Marburg/Lahn
am 23.1.1969
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät
Dekan: Prof. Dr. med. Wolfgang Straub
Referent: Prof. Dr. med. Johannes W. Rohen
Correferent: Prof. Dr. med. Wolfgang Staub

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsübersicht

		Seite
A.	Einleitung und Fragestellung	1
B.	Material und Methodik	5
C.	Untersuchungsergebnisse	6
	1. Allgemeine Beobachtungen über arachnoideale Granulationen am Sehnerven	6
	2. Formtypen der arachnoidealen Granulationen am Sehnerven des Menschen	8
	3. Über die Altersabhängigkeit von Aufbau und Form arachnoidealer Granulationen am Sehnerven des Menschen	10
	I. Über den histologischen Aufbau der arachnoidealen Formationen am Sehnerven von Kindern	10
	II. Aufbau der arachnoidealen Formationen am Sehnerven von Jugendlichen und Erwachsenen	10
	4. Arachnoideale Zellformationen am Sehnerven von Affen	11
D.	Diskussion	13
E.	Zusammenfassung	20
F.	Literaturverzeichnis	22

A Einleitung und Fragestellung

Der Sehnerv, der sich aus den Neuriten der retinalen Opticusganglienzellen bildet, die beim Menschen zum größten Teil im Corpus geniculatum laterale (primäres Sehzentrum) enden, läßt sich in eine pars intraorbitalis, intracanicularis und intracranialis unterteilen. Der intraorbitale Abschnitt reicht vom Bulbus oculi bis zum Canalis opticus und wird von den Hirnhäuten (Pia mater , Arachnoidea und Dura mater) umgeben.

Der Nervus opticus selbst besteht aus ca. 500 000 bis 1 Million markhaltiger Nervenfasern. Bei einem 30-jährigen Patienten zählte OPPEL (1963) am Querschnitt nach Paraffineinbettung und Markscheidenfärbung (Weigert) 1 186 172 markhaltiger Opticusfasern. 92 % dieser Fasern hatten einen Durchmesser von rund 2u, bei 6% lagen die Werte höher, bei 2% niedriger. Zwischen diesen Fasern kann man Neurogliazellen, vor allem Astrozyten und Oligodendrongliazellen finden. Von der Pia mater aus dringen gefäßreiche Bindegewebssepten in den Sehnerven ein, die die Opticusfasern in eine große Zahl gröberer, nicht vollkommen getrennter Bündel untergliedern (nach CLARA (1967) etwa 800-1000). Hierdurch wird eine Felderung hervorgerufen, die am Querschnitt besonders gut sichtbar ist (Abb. 1). Die umgehenden Sehnervenscheiden gliedern sich in die Pia mater, Arachnoidea, die mittels Bindegewebssträngen an der Pia befestigt ist und in die Dura mater, die als äußerste Scheide den Sehnerven samt der genannten Häute wie eine Kapsel umgibt.

Die Pia mater des Nervus opticus ist eine äußerst zarte Bindegewebshaut, die der Oberfläche des Nerven eng anliegt und eine große Zahl von Gefäßen, vorwiegend Kapillaren enthält. Die innerste Lage der Pia (Intima piae) ist eine Gitterfaserhaut und mit der gliösen

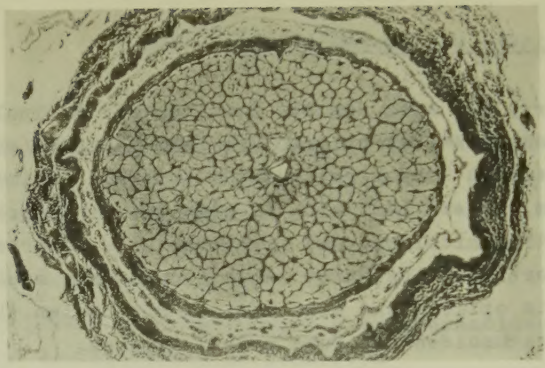

Abb. 1: Querschnitt durch einen menschlichen Sehnerven, 50 Jahre alt, männlich, (Azan-Färbung, Vergr. 17 fach)

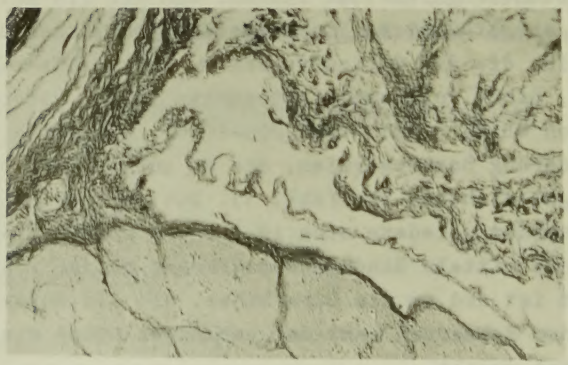

Abb. 2: Horizontalschnitt durch den Sehnervenkopf eines 29- jährigen Patienten mit Durascheide, Intervaginalspalt und Sklera, (Färbung nach van Gieson, Vergr. 132 fach)

Grenzhülle der nervösen Substanz (Membrana limitans gliae) eng verbunden.

Die Arachnoidea besteht dagegen aus einem zarten, durchsichtigen Bindegewebshäutchen, das vornehmlich dem Verlauf der inneren Schicht der Dura folgt. Mittels schmaler, rundlicher Bindegewebsbälkchen ist sie an der Pia fixiert. Den Spaltraum zwischen Arachnoidea und Pia bezeichnet man als Cavum subarachnoideale (Intervaginalspalt). Er ist mit Liquor cerebrospinalis angefüllt. Der Intervaginalspalt kommuniziert mit dem Subarachnoidealraum des Cavum crani. Er endet am Bulbus oculi in Höhe der Lamina cribrosa blind (Abb. 2).

Als Abgrenzung gegen das Cavum subdurale besitzt die Arachnoidea einen endothelartigen Überzug von platten Zellen. Durch Vermehrung solcher Zellen können lokalisierte, gefäßlose Zellanhäufungen entstehen. Im Alter sind an solchen Stellen nicht selten konzentrische, hyaline Körper zu beobachten (Corpora arenacea) Abb. 3. Sie können verkalken oder lytisch degenerieren (FERNER 1940).

Die Durascheide, die in Höhe des Bulbus in die Sklera übergeht, ist aus straffem, faserigem Bindegewebe aufgebaut, das von zahlreichen kleineren und größeren Gefäßen ernährt wird.

Durch die bindegewebigen Hüllen des Sehnerven einschließlich der zugehörigen intervaginalen Spalträume wird einerseits die Beweglichkeit und Elastizität des Nervus opticus bei den Augenbewegungen garantiert, andererseits aber auch der Nerv mit dem Flüssigkeitssystem des ZNS in Zusammenhang gebracht. Über die funktionellen Zusammenhänge zwischen dem Gehirnliquorsystem und dem intervaginalen Flüssigkeitssystem des Sehnerven insbesondere über die Frage nach dem Abfluß des Liquors aus den Sehnervenscheiden ist wenig Sicheres bekannt. In

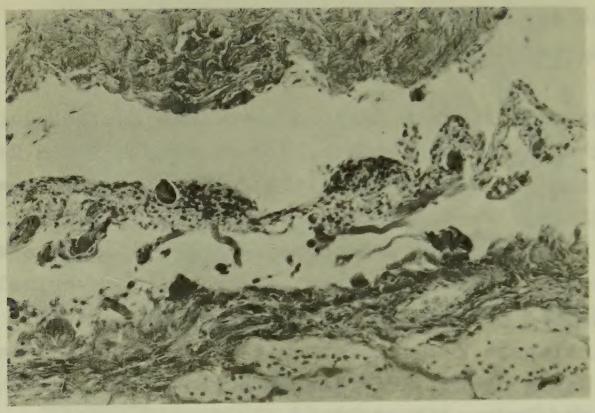

Abb. 3: Horizontalschnitt durch zwei arachnoideale Granulationen in den Sehnervenscheiden des Menschen, Alter 29 Jahre, weiblich, (Azan-Färbung, Vergr. 132 fach)

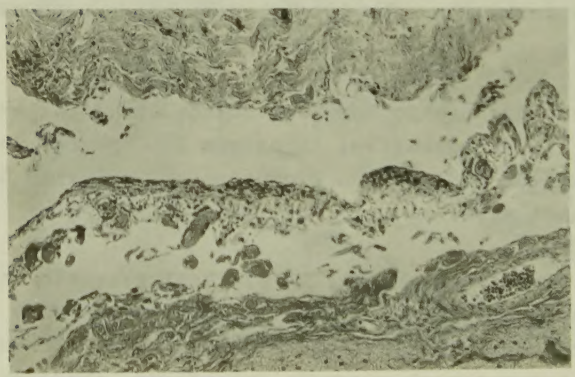

Abb. 4: Horizontalschnitt durch mehrere plattenförmige Zellverdichtungen in der Arachnoidea des menschlichen Sehnerven, Alter 29 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 132 fach)

der letzten Zeit ist die Frage mehrfach aufgeworfen worden, ob die Zellanhäufungen der Arachnoidea des Sehnerven, sowohl hinsichtlich ihrer Struktur, als auch ihrer Funktion mit den Pacchionischen Granulationen vergleichbar seien. ROHEN (1955) fand bei Vögeln in Bulbusnähe arachnoideale Granulationen, die polypös in den Intervaginalspalt vorspringen und an die Pacchionischen Granulationen der Hirnhäute erinnern.

Die Arachnoidea encephali besitzt bekanntlich an der zur Pachymeninx hingewandten Seite gestielte, meist aus lockerem, flüssigkeitsreichem Bindegewebe bestehende, zottenartige Ausstülpungen, die man als Pacchionische Granulationen (Granulae arachnoideales) bezeichnet. Oft dringen diese Proliferationen weit in die Dura ein. Teilweise wird die Dura auch perforiert. Zuweilen hinterlassen sie Abdrücke in der Calvaria, sog. foveolae granulares. Einige ragen in den Sinus durae matrix vor, was besonders beim Sinus sagittalis superior und dem Sinus sagittalis transversus beobachtet wird. Bei Kindern bis zu 10 Jahren fehlen sie praktisch ganz, bei alten Menschen sind sie oft verkalkt oder degeneriert.

Von WEED (1914), WELCH und FRIEDMANN (1916), WISLOCKI (1932) und anderen Autoren wurde gezeigt, daß die arachnoidealen Zotten für den Abfluß der cerebrospinalen Flüssigkeit funktionell von Bedeutung sind. Ob ähnliche arachnoideale Granulationen auch in anderen Teilen des ZNS existieren blieb lange unklar, bis ELMAN (1923) Arachnoideaproliferationen auch im Rückenmark beschrieb. ELMAN zeigte, daß eine Eisen-ammonium-citrat-Lösung oder eine Kalium-eisen-cyanid-Lösung, die in den subarachnoidealen Raum injiziert worden war, kurz danach in den benachbarten Venen wieder gefunden werden konnte. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß zumindest eine gewisse Menge cerebrospinaler Flüssigkeit durch Zellanhäufungen der Arachnoidea abgeleitet

werden kann. 1963 wurde die Existenz arachnoidealer Zotten an den Spinalnervenwurzeln durch WELCH und POLLAY genauer beschrieben.

1964 untersuchten SHANTAVEERAPPA und BOURNE ähnliche arachnoideale Zellproliferationen an den Sehnervenscheiden von Menschen und Affen und versuchten sie mit den Pacchionischen Granulationen zu vergleichen. SHANTAVEERAPPA wies daraufhin, daß der Liquor cerebrospinalis, der ja bis in den Intervaginalspalt der Sehnervenscheiden vordringt, schließlich irgendwo filtriert werden muß. Ansonsten müsse ein Papillenödem entstehen. Er glaubte, daß die von ihm beschriebenen Arachnoidea - Zotten diese Aufgabe erfüllen würden. Experimentelle Untersuchungen zu dieser Frage wurden jedoch nicht durchgeführt. Kürzlich wurden die histologischen Befunde von SHANTAVEERAPPA und BOURNE (1964) sowie von JAYATILAKA (1967) nachgeprüft und bestätigt. Trotz dieser Beschreibung ist nicht klar, ob beim Menschen regelmäßig arachnoideale Zellhaufen existieren und welche Funktion sie haben. Es wäre denkbar, daß die häufig anzutreffenden Zellvermehrungen in der Arachnoidea - Scheide des Sehnerven im histologischen Bild einfach dadurch zustande kommen, daß die Arachnoidea und die Dura mater bei der üblichen Paraffintechnik weniger stark schrumpfen als die Pia mater und die eigentlichen Nervenfasern und dadurch Falten entstehen, die im Schnitt als Proliferationen imponieren. Die genannten Arbeiten lassen auch die Frage nach der regionalen Verteilung dieser granulaartigen Gebilde offen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war daher zunächst einmal, die Lokalisation und Struktur dieser Granulationen an den Sehnervenscheiden mittels Serienschnitten genauer zu prüfen und die Altersabhängigkeit im Auftreten derartiger Gebilde festzustellen und die Frage zu klären, inwieweit sie mit den Pacchionischen Granulationen zu vergleichen sind.

B Material und Methodik

Im ganzen wurden 17 Sehnerven von Primaten und 14 Nervi optici von menschlichen Augen untersucht. Das menschliche Material stammte von Individuen, die im Pathologischen Institut der Universität Marburg seziert worden waren.

Der Sehnervenstumpf wurde von den enukleierten Augen abgetrennt und für 1 Tag in 10%ige, danach für ca. 12 Stunden in 4%ige neutrale Formalinlösung eingelegt. Nach 24- stündigem Auswaschen unter fließendem Wasser wurden die Gewebsstücke in eine aufsteigende Alkoholreihe gegeben, d.h. jeweils für 12 Stunden in 70-, 80-, 90-, 96- und zweimal in 100%igen Alkohol überführt. Anschließend wurden die Präparate für 2 Tage in frisches Zedernholzöl gelegt bevor sie dann in Paraffin bzw. Paraffin - Paraplast eingebettet wurden.

Altersangaben über das von Affen stammende Material fehlten. Die von Menschen untersuchten Sehnerven stammten von Patienten aller Altersklassen (Tabelle 1).

Mittels eines Paraffin - Mikrotoms der Firma Jung, Heidelberg, wurden von sämtlichen Gewebsstücken horizontale und frontale Schnittserien angefertigt. Die Schnitte waren durchschnittlich 6 - 8 µ dick. Um die arachnoidealen Granulationen sichtbar zu machen, wurden folgende Färbungen angewandt:

1. Masson'sche Trichromfärbung nach GOLDNER
2. Pikrofuchsinfärbung nach van GIESON
3. Azan - Färbung nach HEIDENHAIN
4. Toluidinblau
5. Silberimprägnation nach GOMORRI

Weitere durchgeführte Färbungen wie Hämatoxylin - Eosin und PAS erwiesen sich zur Auffindung von arachnoidealen Zotten als nicht besonders geeignet.

Alter	Geschlecht	Krankheit des Patienten	Schnittführung
1 Tag	männl.	Hirnblutung	tangential
2 Tage	weibl.	Listeria monocytogenes	frontal
6 Monate	weibl.	Vitium cordis	tangential
9 Monate	männl.	Herzfehler	frontal
18 Jahre	männl.	Aortenklappenplastik	tangential
18 Jahre	männl.	Aortenklappenplastik	frontal
29 Jahre	weibl.	essentielle Praeeklampsie	frontal
30 Jahre	weibl.	Lymphogranulomatose	frontal
43 Jahre	männl.	Hirnödem	frontal
50 Jahre	männl.	Coma diabeticum	tangential
50 Jahre	männl.	Coma diabeticum	frontal
75 Jahre	männl.	Urämie	tangential
84 Jahre	männl.	Encephalomalacie, Frischer Herzinfarkt	tangential

Tabelle 1: Zusammenstellung des menschlichen Materials, das der Untersuchung zugrunde liegt. Letzte Spalte rechts gibt die Schnittführung für die Aufarbeitung der Sehnervenstümpfe an.

C Untersuchungsergebnisse

1. Allgemeine Beobachtungen

Bei der lichtmikroskopischen Analyse der Präparate fanden sich bei einem Großteil der Schnitte Granulationen bzw. Zellanhäufungen der Arachnoidea, die sich in den freien, liquorgefüllten Subduralraum vorwölben. Diese Zellansammlungen zeichnen sich durch eine intensive Färbbarkeit gegenüber der übrigen Arachnoideahaut aus. Anhand von Serienschnitten war es möglich, die Ausdehnung und Form dieser Granulationen genauer zu verfolgen. Im gewöhnlichen Schnitt fallen die bandförmig verbreiterten Zellproliferationen meist kaum auf. In Serienschnitten zeigte sich jedoch, daß diese Zellinseln nicht nur flächenhafte Anhäufungen darstellen, sondern Zotten bilden und in den Subduralraum vordringen können. An der gegenüberliegenden Dura lassen sich häufig Einbuchtungen feststellen, die wahrscheinlich von den Arachnoideazotten herrühren. Derartige Einbuchtungen stellen dann gleichsam ein Negativ von der Form und Ausdehnung der arachnoidealen Proliferation dar (Abb. 4).

An Paraffinschnitten gewinnt man den Eindruck, daß der Subduralraum einen breiteren Spaltraum darstellt, was aber in Wirklichkeit nicht zutrifft. Durch die Vorbehandlung der Gewebsstücke kommt es meist zu unterschiedlichen Schrumpfungen der Sehnervenscheiden. Dadurch wird der normalerweise kaum sichtbare Subduralspalt zu einem relativ breiten Spaltraum erweitert. Es ist daher gut denkbar, daß arachnoideale Granulationen Formabdrücke an der bindegewebigen Pachymeninx hinterlassen können.

Ein besonderer Zusammenhang zwischen den arachnoidealen Zellverdichtungen und den Blutgefäßen der Durascheide ließ sich so gut wie nie eindeutug nachweisen. Hin und

wieder kann man zwar kleinste Gefäße finden, die nicht weit von einer Arachnoideazotte entfernt im Bindegewebe der Dura liegen. Sie scheinen aber mit den Zellproliferationen in keiner direkten Verbindung zu stehen. Auch weist das Gewebe um die Gefäße herum keine Strukturbesonderheiten auf. Mastzellen, die ja durchaus im Bindegewebe der Durascheide verstreut vorkommen (Abb. 5) sind nicht an Stellen, wo Granulationen liegen, vermehrt vorhanden. In den arachnoidealen Granulationen selbst kommen in der Regel weder Blutgefäße noch Mastzellen vor. Strukturzusammenhänge zwischen den Arachnoideazotten und dem pialen Blutgefäßsystem, das sehr ausgeprägt ist, konnten nirgends gefunden werden. Diese Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß die Arachnoideazotten in der Regel keine bevorzugten Beziehungen zu dem pialen Gefäßnetz besitzen.

Arachnoideale Zellproliferationen können im allgemeinen an jeder Stelle des Sehnerven vorkommen. Ihre Form, die später noch eingehender dargestellt wird, zeigt keine Abhängigkeit von der Lokalisation dieser Gebilde. Erwähnenswert scheint jedoch die Feststellung, daß am äußersten distalen Teil des Nervus opticus fast nie arachnoideale Granulationen vorkommen.

Innerhalb der Arachnoideazotten finden sich zwischen den Zellen kollagene Bindegewebsfasern, die in der Regel zu Bündeln zusammengefaßt sind. Diese Bindegewebsbündel werden durch etwa 5 - 10 µ große Spalträume voneinander getrennt. Sie variieren allerdings stark in Form und Größe (Abb. 6 und 7). Ein Teil dieser Zwischenräume wird durch arachnoideales Bindegewebe umsäumt. Die freien Räume scheinen in vielen Fällen miteinander zu kommunizieren. Gelegentlich beobachtet man auch konzentrisch angeordnete Faserformationen innerhalb der Granulationen (Abb. 8). Es ist denkbar, daß es an solchen Stellen zu hyalinen Degenerationen der Zellhaufen kommt, so daß dann Gebilde wie sie in Abb. 3 und Abb. 9

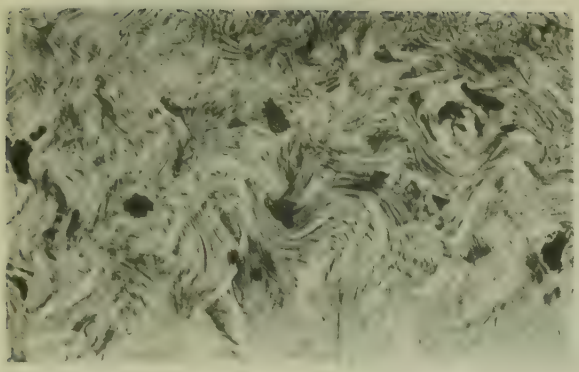

Abb. 5: Darstellung von Mastzellen im Bindegewebe der Pachymeninx eines menschlichen Präparates, Alter 29 Jahre, weiblich, (Färbung mit Toluidinblau, Vergr. 528 fach)

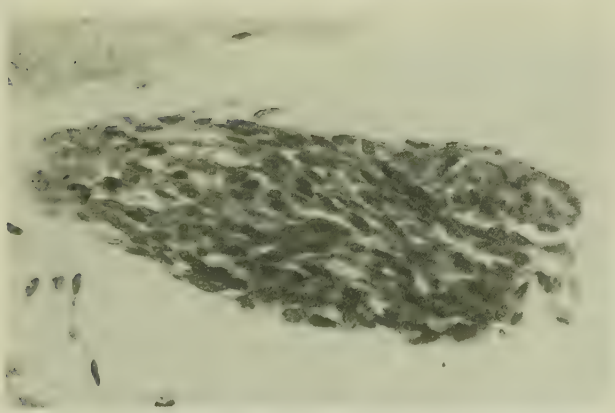

Abb. 6: Horizontalschnitt durch den abgerissenen Teil einer arachnoidealen Granulation am menschlichen Sehnerven. Man beachte das feine Kanälchensystem zwischen den Zellstraßen, Färbung mit Toluidinblau, Vergr. 538 fach)

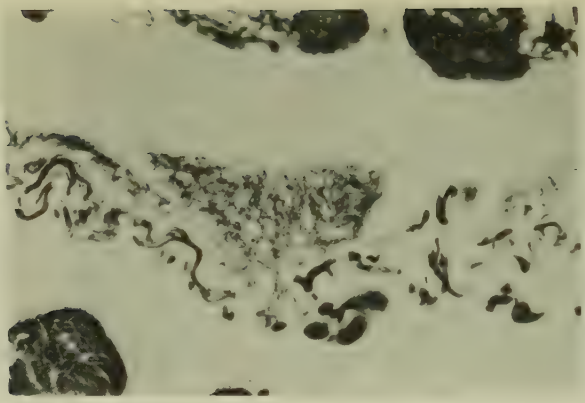

Abb. 7: Querschnitt durch eine arachnoideale Zotte am menschlichen Sehnerven. Man beachte das ausgeprägte Bindegewebsgerüst der Zotte, Alter 29 Jahre, weiblich, (Silberimprägnation nach Gomorri, Vergr. 528 fach)

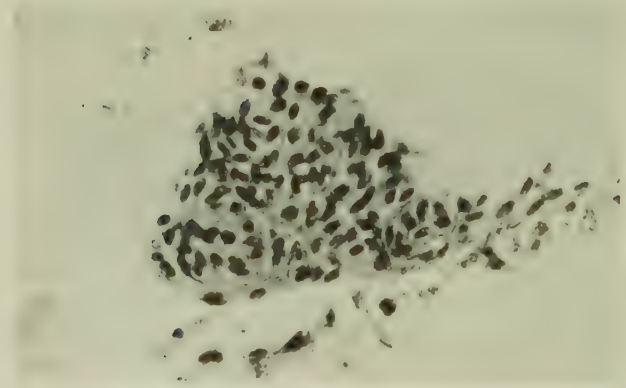

Abb. 8: Querschnitt durch die Arachnoideazotte eines menschlichen Sehnerven. Man beachte die konzentrische Anordnung der Zellgruppen und die pyramidenförmige Gestalt der Granulationen, Alter 30 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 528 fach)

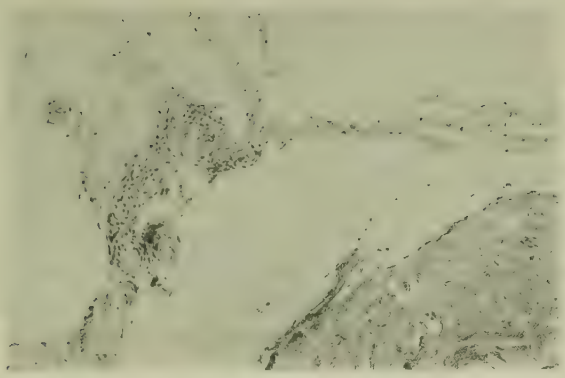

Abb. 9: Querschnitt durch eine arachnoideale Zellverdichtung mit verkalkten Corpora arenacea,,menschlicher Sehnerv, Intervaginalspalt artefiziell erweitert, Alter 30 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 132 fach)

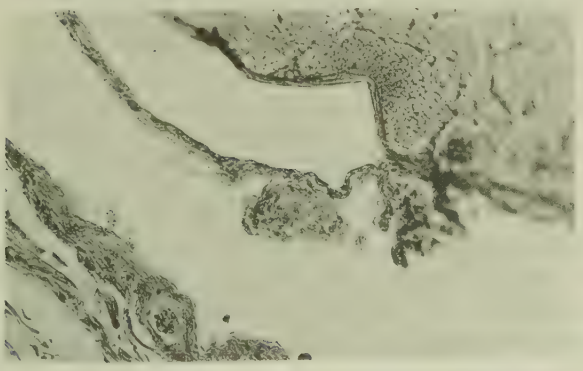

Abb. 10: Querschnitt durch eine Arachnoideazotte im vorderen Bereich der Opticusscheide, menschlicher Sehnerv, Alter 50 Jahre, männlich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 211 fach)

zu erkennen sind, entstehen.

Die Zellen der Arachnoideazotten weisen runde, ovale, spindelförmige oder abgeplattete Formen auf, von denen die ovale Form meist überwiegt. Zuweilen wird die Oberfläche der Granulationen von einer Schicht flacher, nicht so intensiv angefärbter Zellen bedeckt, die eine Fortsetzung der Arachnoideahaut darstellen (Abb. 10). Wesentlich häufiger vermißt man jedoch derartige Hüllzellen. Die Zellen der arachnoidealen Zotten liegen dann relativ ungeordnet und strukturlos beieinander.

Im allgemeinen sind die hier diskutierten arachnoidealen Gebilde nicht so groß, daß sie bis in die Pachymeninx hinein vordringen. Gelegentlich ließen sich zwar arachnoideale Zellverdichtungen ausmachen, die Abdrücke an der Dura mater hinterlassen, doch ließen sich größere Ausbuchtungen in der Durascheide selbst so gut wie nie finden.

2. Formtypen der arachnoidealen Granulation des Menschen

In ihrer äußeren Form zeigen die arachnoidealen Zellverdichtungen mannigfache Varianten. Wie verschieden sie in ihrem Aussehen sein können, sollen folgende Beispiele illustrieren.

Immer wieder trifft man Granulationen an, die ziemlich breitbasig angelegt sind und nur wenig in den freien Subduralraum vorragen (Abb. 11). Bei diesen Granulationen kann man eigentlich nur von Verdickungen der Arachnoideascheide sprechen und nicht von Ausstülpungen. Außerdem gibt es Formen, die nicht so groß sind wie die vorher angeführten arachnoidealen Granulationen. Ganz typisch ist für sie eine dreieckige Gestalt im Querschnittsbild. Die Zotte ist immer mit ihrer breiten Seite zur Pachymeninx hin gerichtet (Abb. 12).

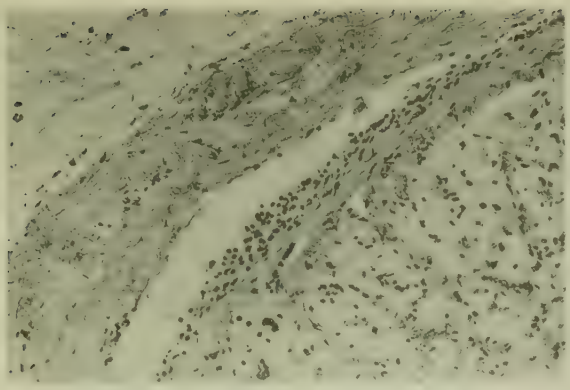

Abb. 11: Querschnitt durch eine plattenförmige arachnoideale Zellverdichtung in den Sehnervenscheiden eines Neugeborenen, Alter 2 Tage, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 211 fach)

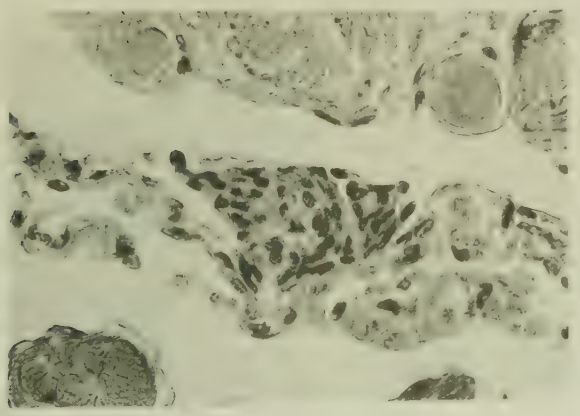

Abb. 12: Querschnitt durch eine arachnoideale Granulation im Bereich der Opticusscheiden bei einem 29- jährigen Patienten, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 528 fach)

Im Gegensatz zu diesen Zellproliferationen lassen sich aber auch arachnoideale Gebilde beobachten, die pyramidenförmig der Arachnoidea aufsitzen und häufig wesentlich mehr Zellen enthalten. Diesem Formtyp arachnoidealer Zellanhäufungen begegnet man relativ oft (Abb. 13). Ausgesprochen selten lassen sich dagegen Granulationen ausmachen, die ein pilzförmiges Aussehen haben und breitflächig in den Subduralraum vorragen (Abb. 14). Sie zeichnen sich durch einen enormen Zellreichtum aus.

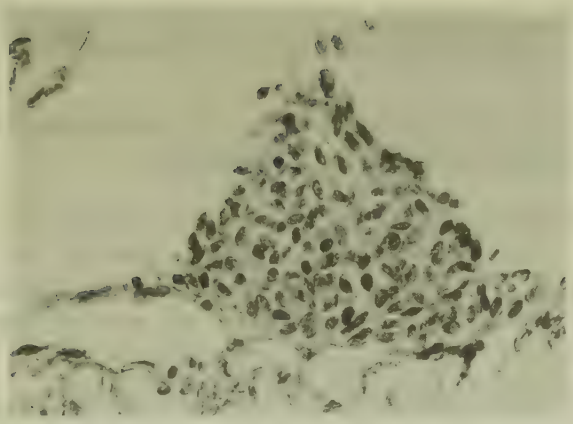

Abb. 13: Querschnitt durch eine arachnoideale Granulation am menschlichen Sehnerven, Alter 30 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner. Vergr. 528 fach)

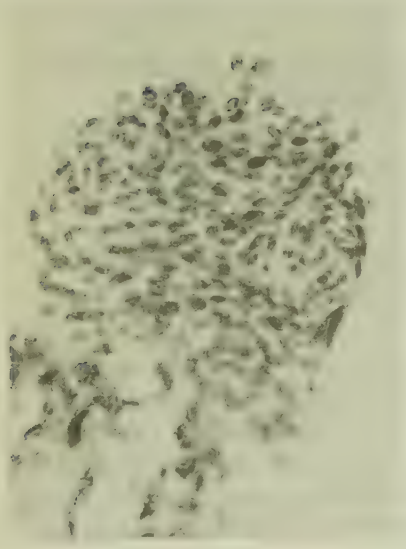

Abb. 14: Querschnitt durch eine zottenartige arachnoideale Zellproliferation in den Sehnervenscheiden vom Menschen, Alter 30 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 528 fach)

3. Über die Altersabhängigkeit von Aufbau und Form arachnoidealer Granulationen am Sehnerven des Menschen.

I. Über den histologischen Aufbau der arachnoidealen Formationen am Sehnerven von Kindern.

Bei Kindern zeigen die Sehnervenscheiden meist eine straffe, glatt begrenzte Form (Abb. 11 und 15). In der Regel sind die liquorgefüllten Zwischenräume schmal, zuweilen überhaupt nicht erkennbar, was das Auffinden arachnoidealer Granulationen in dieser Altersstufe schwer macht.

An einigen Stellen nahe der Pachymeninx ist die Arachnoidealscheide unregelmäßig und flächenhaft verdickt (Abb. 16). Diese Proliferationen unterscheiden sich von dem umliegenden Gewebe durch ihre intensivere Anfärbbarkeit z. B. Azan - Färbung und durch ihren vermehrten Zellgehalt. Sie weichen in Aussehen und Aufbau kaum voneinander ab. Die Formvariabilität ist also bei Kindern nicht so groß.

II. Aufbau der arachnoidealen Formationen am Sehnerven von Jugendlichen und Erwachsenen.

Sowohl an Tangential- als auch an Frontalschnitten findet man bei Jugendlichen und Erwachsenen wesentlich häufiger Arachnoideagranulationen am Sehnerven. Sie zeichnen sich durch ihre Größe von den bei Kindern gefundenen Granulationen aus. Öfters sieht man sogar mehrere derartiger Arachnoidea - Zotten in einem einzigen Schnitt, was sich an den Sehnervenscheiden von jungen Patienten niemals feststellen ließ. Die Formationen zeigen eine besondere Vielfalt an Strukturen und Formtypen. Bei älteren Sehnerven kommen alle oben beschriebenen Formen arachnoidealer Zellanhäufungen vor, von der einfachen, plattenförmigen Verdickung bis zu zottenartigen Vorwölbungen.

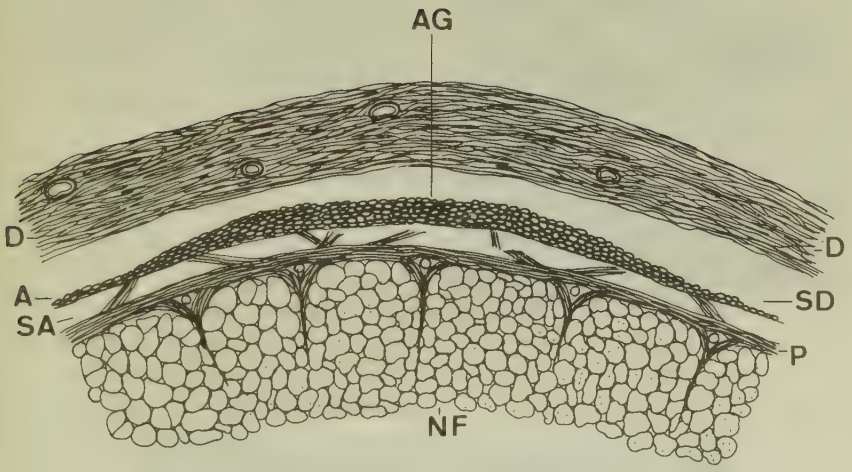

Abb. 15
Schematische Darstellung über den Aufbau arachnoidealer Granulationen an den Sehnervenscheiden kindlicher Augen. A Arachnoidea, D Dura mater, P Pia mater, SA Subarachnoidealraum, SD Subduralraum, NF Nervenfasern, AG Arachnoideale Granulation. Der Subduralraum ist artifiziell erweitert, entspechend der an Paraffinschnitten häufig anzutreffenden Befunde.

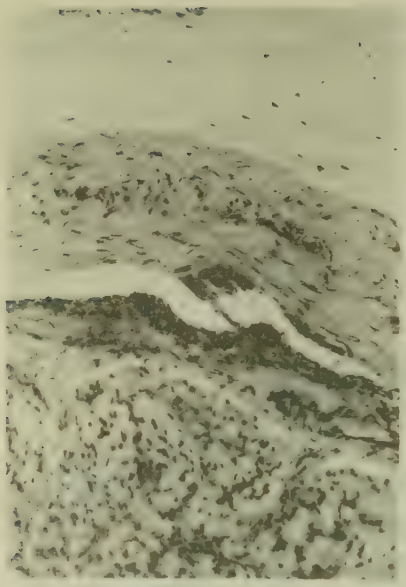

Abb. 16: Querschnitt durch eine flächenhafte arachnoideale Granulation am Sehnerven eines 9 Monate alten Kindes, männlich, (Färbung mit Toluidinblau, Vergr. 211 fach)

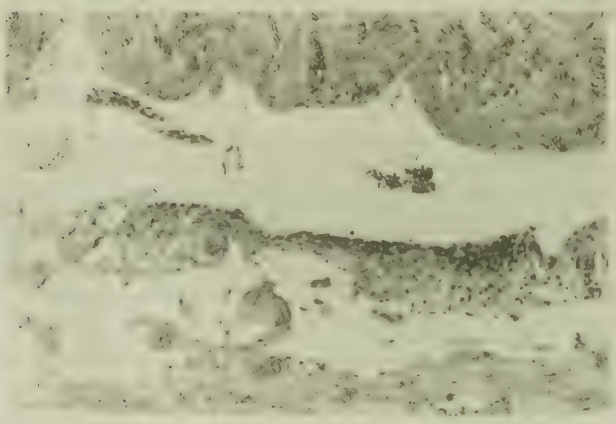

Abb. 17: Horizontalschnitt durch mehrere plattenförmige arachnoideale Zellformationen am Sehnerven eines 29- jährigen Patienten, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 132 fach)

Nur gelegentlich beobachtet man Gebilde, die sich in ihrem Aussehen völlig gleichen. Bei der Anfertigung sehr dünner Schnitte kommt es zuweilen zum Abreißen von arachnoidealen Granulationen. Diese abgetrennten Teilstücke lassen sich dann im Spatium subdurale wiederfinden (Abb. 17). Bei sehr alten Patienten beobachtet man am Sehnerven oft starke Faltungen der Opticus-Scheiden. Hin und wieder findet man in den an der gegenüberliegenden Dura liegenden Buchten auch noch arachnoideale Zellelemente, die aber selten größeres Ausmaß erreichen und nicht sehr tief in das Bindegewebe der Pachymeninx hineinragen.

Besonders auffallend und bemerkenswert ist das vermehrte Auftreten von arachnoidealen Granulationen bei Menschen im Greisenalter. Die Zellanhäufungen nehmen zwar im Alter zahlenmäßig zu, aber die Granulationen bilden nicht mehr so große und umfangreiche Zotten wie im mittleren Lebensalter. Beim Sehnerven eines 75- jährigen Patienten ließen sich z. B. auf einer Länge von 8 mm 6 - 8 Zellproliferationen antreffen. Wie (Abb. 18) zeigt handelt es sich meist um kleinere Verdickungen der Arachnoidea mit lokalisierten Zellanhäufungen. Sie imponieren als kleinere Knötchen, die sich in den Subduralraum vorwölben. Die mannigfaltigen Formtypen wie sie (Abb 12, 13, 14, 19 und 20) zeigen, sind um so seltener nachzuweisen je älter der Mensch ist.

4. Arachnoideale Zellformationen am Sehnerven von Affen

Bei den untersuchten Arten (Cercopithecus aethiops und Macacus rhesus) ließen sich relativ wenig zottenähnliche Arachnoideagebilde ausmachen. Bei einer Serie von ca. 300 Schnitten eines einzigen Sehnerven fanden wir insgesamt nur 2 - 3 granulationsähnliche Verdickungen. Diese zeigten eine weitgehend uncharakteristische Bauweise. Im allgemeinen weichen die Arachnoideagranulationen bei Affen stark von den bei menschlichen Sehnerven gefun-

Abb. 18: Horizontalschnitt durch die Sehnervenscheiden eines 75- jährigen Patienten mit mehreren kolben- oder fingerförmigen Zellansammlungen in der Arachnoidea (Pfeile), (Azan-Färbung, Vergr. 169 fach)

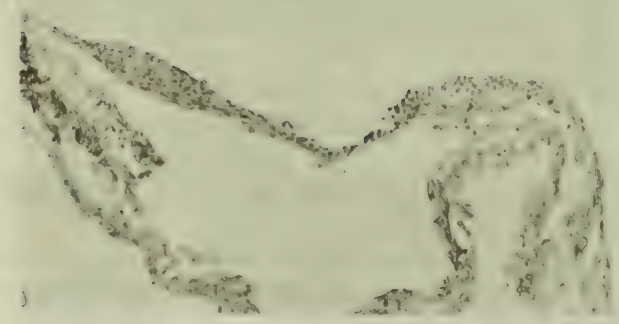

Abb. 19: Querschnitt durch zwei flächenhafte arachnoideale Granulationen am Sehnerven des Menschen, Alter 30 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 169 fach)

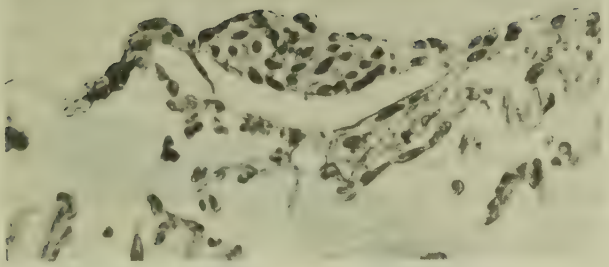

Abb. 20: Querschnitt durch eine kolbenförmige arachnoideale Zellvermehrung am menschlichen Sehnerven, Alter 30 Jahre, weiblich, (Trichromfärbung nach Goldner, Vergr. 528 fach)

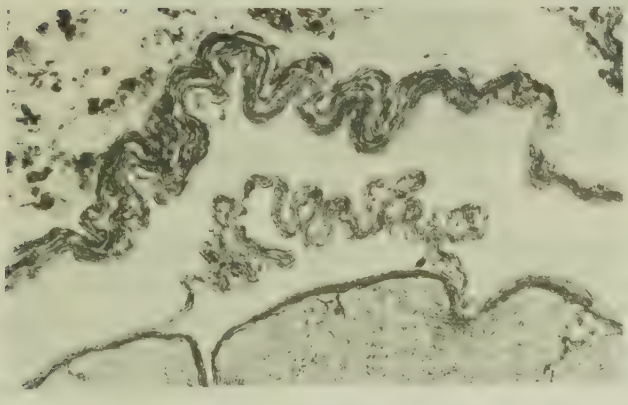

Abb. 22: Querschnitt durch die Sehnervenscheiden eines Affen (Cercopithecus aethiops). Man beachte die starke Faltung der Arachnoideascheide. (Azan-Färbung, Vergr. 271 fach)

denen Proliferationen ab. Zottenartige Granulationen vermißt man völlig. Man beobachtet vielmehr vorwiegend Gebilde, die sich weniger durch ihren Zellreichtum und ihre Größe als durch ihre flächenhafte Ausdehnung auszeichnen. Sie wölben sich meist nur als feine, flache Arachnoideaanhäufungen in den Subduralspalt vor. Gelegentlich kommen auch noch fingerförmige Gebilde vor, die gegen die Pachymeninx gerichtet sind. Im Aufbau dieser relativ kleinen Formationen ist das arachnoideale Bindegewebe nicht beteiligt. Erst die breiteren und größeren Proliferationen enthalten einen bindegewebigen Kern (Abb. 21).

Bei den untersuchten Tieren fand sich kein Fall, wo eine Granulation bis in das Bindegewebe der Pachymeninx hinein vorgedrungen war. Zuweilen hinterlassen die arachnoidealen Platten kleinere Eindellungen an der Dura, wenn es häufig auch schwierig ist zu entscheiden, ob diese Einbuchtungen vielleicht auch durch artifizielle Faltungen der Pachymeninx entstanden sind. Eine genauere Differenzierung ist vielfach gar nicht möglich.

Beziehungen der Granulationen oder Durabuchten zum Blutgefäßnetz waren in keinem der untersuchten Fälle nachweisbar. Am distalen Ende des Sehnerven, wo die Pia in die Arachnoidea übergeht und den Subduralraum verbindet, ließen sich überhaupt keine Arachnoideazotten auffinden.

Da die beschriebenen Arachnoideagranulationen in der Regel bei höheren Affen noch sehr undifferenziert sind, konnte eine Gruppierung nach Formtypen wie beim Menschen nicht durchgeführt werden. Im allgemeinen zeigen die beobachteten, arachnoidealen Zellproliferationen in Aussehen und Gestalt wenig Ähnlichkeit mit denen vom Menschen mittleren Alters. Wenn man sie mit den Formtypen, die beim Menschen gefunden wurden, vergleichen möchte, so erinnern sie am ehesten noch an die Formationen, die bei Kindern und Jugendlichen sowie bei Menschen sehr hohen Alters beobachtet wurden.

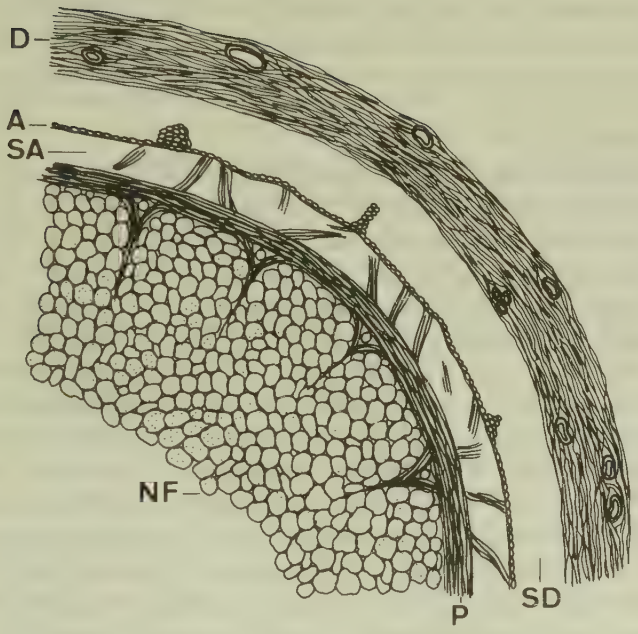

Abb.21 Schematische Darstellung über die Formtypen arachnoidealer Granulationen am Sehnerven von Primaten (Cercopithecus aethiops). A Arachnoidea, D Dura mater, P Pia mater, SA Subarachnoidealraum, SD Subduralraum, NF Nervenfasern. Der Subduralraum ist artifiziell erweitert, entsprechend der an Paraffinschnitten häufig anzutreffenden Befunde.

D Diskussion

Die Frage, ob die beobachteten arachnoidealen Zellgranulationen am Sehnerven echte Strukturen darstellen oder eventuell auch artifiziell durch Faltungen der Arachnoideascheide entstanden sein könnten, wurde bisher selten diskutiert. Sicherlich muß die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß bei der Paraffintechnik üblicher Art die Pia mater und Opticusfasern stärker schrumpfen, als die übrigen Sehnervenscheiden und es somit zu Faltungen und Spaltungen zwischen Dura und Arachnoidea kommt (Abb. 22).

Normalerweise folgt das Arachnoideahäutchen vornehmlich dem Verlauf der inneren Schicht der Dura. Kommt es zu Faltungen der Pachymeninx, so kann man analog dazu auch bei der Arachnoidea derartige Windungen antreffen. Somit muß jeder Einziehung der Dura eine dementsprechende arachnoideale Vorwölbung gegenüberliegen, was in der Regel auch der Fall ist. Einige dieser arachnoidealen Falten könnten dann als Zotten imponieren, was aber ausgesprochen selten beobachtet wurde. Im allgemeinen zeigen derartige Vorwölbungen der Arachnoideascheide ein anderes Aussehen (Abb. 22). Man erkennt gewöhnlich noch die beiden Zellagen der Arachnoidea, die sich eng aneinanderlegen und meist durch kollagenes Bindegewebe voneinander getrennt sind. Bei den von uns beschriebenen " echten " Arachnoideazotten hingegen fehlt diese bindegewebige Lamelle; stattdessen besteht das Ganze hauptsächlich aus dicht zusammenlagernden Zellen (Abb. 12, 13, 14 und 19). Falls die Zotten lediglich artifizielle arachnoideale Faltungen darstellen würden, müßten die arachnoidealen " Zellproliferationen " häufig auch an Stellen auftreten, an denen die gegenüberliegende Dura Einbuchtungen oder Vertiefungen aufweist. Das ist aber nicht der Fall. Dennoch ist es nicht immer eindeutig möglich, arachnoideale Granulationen von artifiziellen Faltungen zu unterscheiden. Außerdem sind auch

Artefaktbildungen durch den fehlenden strukturellen Aufbau gegenüber " echten " Granulationen gekennzeichnet. Von sämtlichen, für diese Arbeit benutzten Sehnerven wurden horizontale bzw. frontale Schnittserien angefertigt. Besonders durch die mikroskopische Analyse derartiger Schnittserien konnte ganz sicher gestellt werden, daß es sich bei den zotten- und plattenartigen Arachnoideagranulationen am Sehnerven nicht um Artefakte gehandelt hat.

Zottenartige Zellproliferationen sind seit langem an den Hirnhäuten bekannt. WEED (1914), WELCH und FRIEDMANN (1916) sowie andere Autoren haben experimentell die Funktion dieser sog. Pacchionischen Granulationen zu klären versucht. Danach sollen die arachnoidealen Granulationen im Gehirn für den Abfluß der cerebrospinalen Flüssigkeit verantwortlich sein. ANDRES (1967) hat neuerdings auch den Feinbau dieser Pacchionischen Granulationen analysiert. Er weist daraufhin, daß diese zottenartigen Gebilde aus Arachnoideazellen und Bindegewebe bestehen. Gelegentlich besitzen sie eine solche Größe, daß sie schon mit bloßem Auge zu erkennen sind. Öfters ragen sie weit in den Sinus sagittalis superior hinein, weniger oft in die anderen Blutleiter des Gehirns. Ein anderer Teil durchdringt die bindegewebige Pachymeninx und hinterläßt an vielen Stellen der Calvaria kleine Grübchen (sog. Foveolae granzlares). Kleinere Zotten lassen sich nur mikroskopisch ausfindig machen. HOWARTH und COOPER (1955) beobachteten später auch an anderen Stellen des ZNS derartige arachnoideale Zellanhäufungen. Nach der Schilderung von ANDRES (1967) reichen diese Zellproliferationen meist transdural bis unter das Sinusendothel, bewirken aber nur flache Erhebungen am Sinus durae matris. Derartige " Intradurale " Formationen haben immer Kontakt zum Blutgefäßnetz der Dura mater. Bei besonders kleinen Zellverdichtungen soll das arachnoideale Bindegewebe nicht mehr am Aufbau beteiligt sein.

SHANTAVEERAPPA und BOURNE (1964) haben nun zum ersten Mal auch ähnliche arachnoideale Zellproliferationen an der Arachnoideascheide des Sehnerven gefunden. Die Ergebnisse dieser Arbeit decken sich jedoch nicht mit den hier gewonnenen Resultaten. So beschrieben die Autoren unzählige Formvarianten bei den Arachnoideagranulationen. Sie sprechen von verlängerten, fingerförmigen, pyramidenartigen und rechteckigen Gebilden, erwähnen aber nicht, welche Formtypen jeweils dominieren und wie häufig sie vorkommen. Nach unseren Beobachtungen kommt die dreiseitig begrenzte Zottenform am häufigsten vor (Abb. 12). SHANTAVEERAPPA und BOURNE (1964) teilen die arachnoidealen Zellproliferationen danach ein, wie sie lokalisiert sind, ob in unmittelbarer Nachbarschaft der Dura oder in Höhe eines Blutgefäßes. Sie betonen, daß sich die Arachnoideazotten in Form und Gestalt mit der Entfernung zur Papille ändern, was sich aber durch unsere Ergebnisse nicht bestätigen ließ. SHANTAVEERAPPA und BOURNE betonten auch, daß die arachnoidealen Granulationen des Sehnerven in Verbindung mit Blutgefäßen stünden. Gelegentlich trifft man zwar kleinere Gefäße in der nächsten Umgebung derartiger Zellproliferationen an, doch ein gesetzmäßiger topischer Zusammenhang besteht nicht. Das stimmt auch mit den Beobachtungen von JAYATILAKA (1967) überein, der in seiner Studie über Arachnoideazotten am menschlichen Sehnerven betont, daß er niemals räumliche Beziehungen zum Gefäßsystem ausfindig machen konnte.

SHANTAVEERAPPA und BOURNE scheinen keine Unterschiede zwischen den arachnoidealen Zellproliferationen am Sehnerven von Menschen und Affen bemerkt zu haben. Die Ergebnisse unserer Arbeit sprechen jedoch eindeutig dafür, daß solche Granulationen bei menschlichen Sehnerven wesentlich häufiger und ausgeprägter zu beobachten sind als bei Simiae. Hinzu kommt noch die Feststellung, daß sich die beim Menschen anzutreffenden Zotten in Form und Größe nach dem Lebensalter differenzieren

lassen. THOMAS (1966) vermutete bei der Untersuchung von Pacchionischen Granulationen im Gehirn, daß derartige arachnoideale Zellanhäufungen bei vielen Tieren wesentlich seltener vorkommen würden als beim Menschen.

Bei JAYATILAKA variierte das Alter des Untersuchungsmaterials zwischen 25 und 65 Jahren. Er hatte nicht die Möglichkeit, Sehnerven von Kindern und Affen in seine Betrachtungen mit einzubeziehen und konnte somit auch keine Aussagen darüber machen.

Aus unseren Feststellungen ergibt sich, daß die arachnoidealen Granulationen mit dem Alter an Größe zunehmen, wobei sie sich auch mehr und mehr ausdifferenzieren. Bei kindlichen Sehnerven fanden wir so gut wie nie ausgeprägte Arachnoideaformationen, die denen von Erwachsenen vergleichbar waren. Die kindlichen arachnoidealen Zellproliferationen scheinen zunächst auf einer breiten Basis angelegt zu werden. Es ist gut denkbar, daß sich aus solchen bandförmigen Verdickungen (Abb. 11 und 16) mit der Zeit die zottenförmigen oder pilzhutartigen Formen entwickeln, wie sie etwa Abb. 12, 13, 14 und 19 zeigen.

Vergleicht man die Gebilde der Arachnoidea des menschlichen Sehnerven mit den Pacchionischen Granulationen der Hirnhäute, so erscheinen beide zunächst hinsichtlich ihres histologischen Aufbaues weitgehende Ähnlichkeiten zu besitzen. Gegenüber dem Blutgefäßsystem verhalten sie sich jedoch völlig anders. Wie bereits erwähnt besitzen nach WEED die Pacchionischen Granulationen einen unmittelbaren Kontakt mit den Blutleitern des Gehirns. WEED (1922) schreibt, daß die Proliferationen direkt unter dem Endothel der großen Venensinus liegen, während HOWARTH und COOPER (1955) angeben, daß das Endothel des oberen sagittalen Sinus niemals direkt mit den Arachnoideazotten in Verbindung stehe, sondern immer durch ein feines bindegewebiges Stroma vom Endothel ge-

trennt bleibe. Offenbar kommen beide Arten vor.

Am Aufbau der arachnoidealen Granulationen des Sehnerven sind immer kollagene Bindegewebsfasern beteiligt, die zum großen Teil gebündelt vorliegen. Sie werden durch enge Spalten voneinander getrennt. Die Zwischenräume können sowohl miteinander als auch mit dem subarachnoidealen Raum in Verbindung stehen. Mit dem Lichtmikroskop läßt sich nicht genau ausmachen, ob hier Gangsysteme oder sog. Tubuli vorliegen (Abb. 6). Schon 1965 hatte JAYATILAKA derartige Spalträume von Schafen beobachtet. Über die Bedeutung dieser Spalten ist jedoch nichts bekannt. Für die Funktion der arachnoidealen Zotten könnten diese Spalträume von besonderer Bedeutung sein.

WEED (1914) hatte narkotisierten Katzen eine Kalium-eisen-cyanid- bzw. eine Eisen-ammonium-citrat-lösung in den Subarachnoidealraum injiziert und kurz danach blaue Partikelchen im oberen sagittalen Sinus beobachtet. Er folgerte daraus, daß die arachnoidealen Granulationen Liquor vom subarachnoidealen Raum in das Venensystem abfiltrieren. WELCH und POLLAY (1961) sowie JAYATILAKA (1965) wiesen bei Affen und Schafen ähnliche Erscheinungen nach. Sie sprachen die Vermutung aus, daß arachnoideale Zellproliferationen Klappen besitzen, die dafür verantwortlich sind, daß Flüssigkeit nur in einer Richtung hindurchgelassen wird und zwar vom Subarachnoidealraum in die Blutgefäße. Dazu müßte aber der cerebrospinale Liquordruck eine bestimmte Größe haben.

Diese Theorie könnte zwar für die Pacchionischen Granulationen zutreffen, ist jedoch für die arachnoidealen Granulationen des Sehnerven nicht anwendbar, da Verbindungen mit dem Blutgefäßsystem morphologisch nicht nachweisbar sind. In diesem Falle scheint die Annahme wahrscheinlicher, daß die im Subarachnoidealraum vorhandene Flüssigkeit über die Granulationen in den Subduralraum

abfiltriert wird. Nach FIELD und BRIERLY (1948) soll ja auch der Liquor cerebrospinalis generell über die perineuralen Lymphspalten abfließen. HOWARTH und COOPER (1955) beobachteten kolloidales Palladium, das direkt in diejenigen Blutgefäße überging, die den liquorgefüllten Subarachnoidealraum durchlaufen. Die von uns geschilderten Arachnoideaproliferationen am Sehnerven könnten Praedilektionsorte für den Liquorabfluß aus den Sehnervenscheiden darstellen. Diese Frage kann jedoch nur experimentell geklärt werden.

Am Sehnerven von Affen ließen sich relativ wenig arachnoideale Zellanhäufungen ausmachen. Derartige Formationen sind ausgesprochen klein und unauffällig. Man vermißt die typischen Bilder, wie sie bei Menschen anzutreffen sind, obwohl die Granulationen nach Ansicht von WELCH und POLLAY (1961) die gleiche Funktion ausüben.

Es ist lange bekannt, daß bei jungen Menschen bis zu 10 Jahren am ZNS keine Pacchionischen Granulationen zu finden sind. Diese Tatsache paßt gut zu unserer Feststellung, daß auch am Sehnerven von Kindern nur Vorstufen von arachnoidealen Granulationen vorhanden sind und diese sich erst im Laufe der Jahre voll ausdifferenzieren. Es ist gut denkbar, daß unentwickelte Granulationen dieser Art auch im Bereich der Arachnoidea des Gehirns von Kindern vorkommen.

Auf Grund der vorliegenden Befunde über die Altersveränderungen der Arachnoideagranulationen am Sehnerven kann man vermuten, daß sich die arachnoidealen Proliferationen erst mit der Zeit formen und sich vielleicht im Zusammenhang mit einer eventuellen Funktionsaufnahme zu zottenähnlichen Gebilden ausdifferenzieren. Bei Menschen im höheren Alter, deren Sehnerv meist viele derartige und häufig ausgeprägte Arachnoideazotten besitzen, beginnen diese dann zu degenerieren. Wir haben damit eine relativ breite Lebenskurve beschrieben, die vielleicht im Zusammenhang mit funktionellen Veränderungen zu ver-

stehen ist. Darüber kann aber aufgrund von histologischen Untersuchungen allein zunächst noch nichts ausgesagt werden.

E Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Existenz sowie den histologischen Aufbau, die Gestalt und die Altersveränderungen der arachnoidealen Granulationen des Sehnerven bei Mensch und Affe neu zu untersuchen. Neben der Analyse der histologischen Struktur standen dabei auch das Verhalten der Blutgefäße der Pachy- und Leptomeninx zu den arachnoidealen Zotten im Vordergrund der Beobachtung.

Am Sehnerven des Menschen konnten verschiedene Formtypen arachnoidealer Zellproliferationen beobachtet werden. Als Kriterien dienten Größe, Zellzahl und Gestalt. Im einzelnen ließen sich dreiecksförmige, pilzförmige, bandförmige und knötchenförmige Granulationen nachweisen. Die jeweiligen Formtypen sind von der Lokalisation der Zotten unabhängig.

Die Granulationen werden von Zellen der Arachnoidea und von kollagenen Bindegewebsfasern aufgebaut. Zwischen den Zellsträngen ließen sich Spalträume in der Größenordnung von 5 - 10 µ beobachten. Bei den kleineren plattenförmigen arachnoidealen Zellproliferationen fehlte das Bindegewebe. Blutgefäße innerhalb der Granulationen konnten nicht ausfindig gemacht werden. Für einen Zusammenhang zwischen Aufbau und Lokalisation arachnoidealer Zotten zum pialen Blutgefäßsystem gibt es keinerlei Hinweise.

Die Arachnoideazotten am Sehnerven junger Patienten zeichnen sich durch ihre breitbasig angelegte, kaum in den Subduralraum hineinragende, niedrige Form aus. Formvariationen sind in den beiden ersten Lebensjahren selten.

Bei älteren Patienten beobachtet man dagegen eine große Formvariabilität. Im Greisenalter (70 Jahre und älter) nimmt diese Variabilität wieder ab. In dieser Gruppe fallen besonders die zahlreichen, dafür aber relativ kleinen, knötchenförmigen Zellansammlungen an der Arach-

noideahaut auf. Rudimentationen und Degenerationen konnten beobachtet werden.

Bei Affen fanden sich meist nur kleine arachnoideale Zellansammlungen, die gewisse Ähnlichkeit mit denen von sehr alten Menschen zeigten. Verschiedene Formtypen ließen sich nicht nachweisen. Im einzelnen gleichen die arachnoidealen Granulationen in ihrem histologischen Aufbau voll und ganz denen des Menschen.

F Literaturverzeichnis

Andres, K-H.: Zur Feinstruktur der Arachnoideazotten bei Mammalia.
Z. f. Zellforsch. 82, 92-109 (1967)

- Über die Feinstruktur der Arachnoidea und Dura mater der Mammalia.
Z. f. Zellforsch. 79, 272-295 (1967)

Clara, M.: Das Nervensystem des Menschen.
Verlag Johann Antonius Barth, Leipzig (1967)

Elman, R.: Special arachnoid Granulation with especial reference to the cerebrospinal fluid.
Bull. Johns Hopk. Hosp. 34, 99-104 (1923)

Ferner, H.: Untersuchungen über die " zelligen Knötchen " (Epithelgranulationen und den Kalkkugeln in den Hirnhäuten des Menschen.
Z. mikr.-anat. Forsch. 48, 592-606 (1940)

Field, E.J. und J.B. Brierley: The lymphatic connexions of the subarachnoi-space.
Brit. med. J. 1, 1167-1171 (1948)

Hochstetter, F.: Über die Entwicklung des sog. Subduralraumes.
Morph. Jb. 83, 462-464 und 474 (1949)

Howarth, F. and E.R.A. Cooper: The fate of certain foreign celloids and cristalloid after subarachnoid injections.
Acta Anat. 25, 112-140 (1955)

Jayatilika, A.D.P.: Arachnoidal Granulation in sheep.
J. Anat. 99, 315-327 (1965)

- An electron microscopic study of sheep arachnoid granulations.
J. Anat. 99, 635-649 (1965)

- A note on arachnoid villi in relation to human optic nerves.
J. Anat. 101, 171-173 (1967)

Kolmer, W.: Das Endothel der Dura mater.
Anat. Anz. 60, 149-152 (1925/26)

Oppel, O: Mikroskopische Untersuchungen über die Anzahl und der Kaliber der markhaltigen Nerfenfasern im Fasciculus opticus des Menschen.
Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal. 166, 19-27 (1963)

Rohen, J.W.: Sehorgan und Orbita.
In: Kurzlehrbuch der topographischen Anatomie 37
F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart (1966)

- Das Auge und seine Hilfsorgane.
In: Handbuch der mikroskopischen Anatomie, begr. v. W.v.Möllendorff, fortges. v. W.Bargmann, Bd. 3, Teil 4, Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer (1964)

- Das Sehorgan.
In: Primatologie(Handbuch der Primatenkunde), herausg. v. H. Hofer, A.H. Schultz und D. Starck. Bd. 2, Teil 1, Lifg. 6, Basel/New York: S. Karger (1962)

- Arterio-venöse Anastomosen in der Orbita bei Vögeln.
Morph. Jb. 95, 364-383 (1955)

Shanthaveerappa, T.R. and Bourne, G.H.: Arachnoid villi in the optic nerve of man and monkey.
Exp. Eye Res. 3, 31-35 (1964)

Thomas, H.: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an den weichen Hirnhäuten und den Pacchionischen Granulationen des Menschen.
Z. mikr.-anat. Forsch. 75, 270-327 (1966)

Weed, L.H.: The absorption of cerebrospinal fluid into the venous system.
Amer. J. Anat. 31, 191-221 (1923)

- Studies on cerebrospinal fluid. The pathways of escape from the subarachnoid space with particular reference to arachnoid villi.
J. med. Res. 31, 51-91 (1914)

- The cells of the arachnoid.
Bull. Johns Hopk. Hosp. 31, 343-350 (1922)

Welch, K. and Friedmann, V.: The cerebrospinal fluid valves.
Brain. 83, 454-469 (1960)

Welch, K. and Pollay, M.: Perfusion of particles through arachnoid villi of the monkey.
Amer. J. Physiol. 201, 651-654 (1961)

- The spinal arachnoid villi of the monkey.
Anat. Rec. 145, 43-48 (1963)

Wislocki, G.B.: In special cytology.
ed. by E.V. Cowdry, S. 1483, Paul B. Herber, New York (1932)

Wolff, J.: Die Ultrastruktur der Arachnoideazellen des Kaninchens und der Ratte.
Vergl. Anat. Ges. Basel, Suppl. Bd. 120 Anat. Anz. (1966)

Herrn Professor Dr. J.W.Rohen möchte ich für die Überlassung des Themas sowie seine freundliche Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit herzlich danken.

Lebenslauf

Am 29. März 1942 wurde ich als Sohn der Eheleute Dr. med. Gustav Hammann und seiner Ehefrau Erna, geb. Jung in Bad Nauheim geboren.

1949 wurde ich in die Volksschule zu Bad Nauheim eingeschult, wechselte 4 Jahre später auf das Ernst - Ludwig - Realgymnasium über und bestand dort im Frühjahr 1962 die Reifeprüfung.

Im Sommersemester des gleichen Jahres begann ich an der Philipps - Universität in Marburg, Medizin zu studieren, legte im Oktober 1963 die naturwissenschaftliche Vorprüfung ab und im Oktober 1965 die ärztliche Vorprüfung.

Meine ärztliche Prüfung beabsichtige ich bis Ende 1968 abzulegen.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

in Marburg:

Amon, Aust, Beckmann, Behrend, Behrendes, Blum, Bommer, Braasch, Braun-Falco, Brück, Buchholz, Büchner, Dimroth, Dittrich, Dölle, Drawert, Exner, Friedrich, Ganz, Gedigk, Graul, Golenhofen, Hardewig, Hensel, Herfarth, Herrmann, Hettler, Heuser, Hildebrand, Hohorst, Hupe, Jacob, Karlson, Knauff, Korb, Kreutz, Kühnel, Koransky, Lehmann-Grube, Linneweh, Löhr, Mahr, Mann, Martini, Marx, Mattes, Müller, Neurath, Nissing, Oehmig, Petry, Pots, Prinz, Reim, du Mesnil de Rochement, Rodeck, Rodenhäuser, Rohen, Rosemann, Sauer, Schiff, Schimassek, Schirren, Schleyer, Schlosser, Schmidt, Schmitz-Moormann, Schneider, Schrappe Schwaiger, Seidel, Siegert, Siess, Spiegelberg, Staib, Straub, Streicher, Strohmeyer, Voss, Walcher, Wendt, Wolter, Würtele, Zilliken